



Pastellzeichnung von Franz von Lenbach 1894

Helmholtz als Professor der Physik in Berlin von Ostern 1871 bis Ostern 1888.

Kaum war die Uebersiedelung von Helmholtz nach Berlin vollzogen, als die noch in demselben Jahre erfolgte Verlobung und die kurz darauf stattfindende Verheirathung seiner Tochter Käthe eine wesentliche Veränderung im Hause herbeiführte.

„Beide Kinder von Helmholtz“, schreibt seine Schwägerin Betty Johannes, „waren auch nach seiner Verheirathung mit der Grossmutter zusammen geblieben, die ihre specielle Pflege übernahm und in demselben Hause wohnte, und sie waren jeden Sommer bei mir auf dem Lande gewesen. Käthe war eine tiefernte Natur, fast krankhaft in ihrem Streben nach den höchsten Zielen, sich nie genugthuend, nie im Stande, die Welt und ihre Erscheinungen in vollkommenen Einklang mit ihren Vorstellungen zu bringen. Sie ist sehr geliebt und sehr bewundert worden. Als sie heranwuchs, und sich ein hervorragendes Talent zur Malerei entwickelte, wurde ihr, hauptsächlich durch das Eingreifen ihrer zweiten Mutter, jeder Weg geebnet, der zur Entwicklung ihrer Gaben und zugleich zu erweiterten Anschauungen und Eindrücken führte. Sie machte Reisen nach München, Wien, Tyrol, ins bayerische Hochland, sie malte in Berliner und Pariser Ateliers und verbrachte ein Jahr in Frankreich und England im Hause des berühmten Orientalisten J. Mohl,

dessen Gattin grossen Einfluss auf sie gewann. Sie übersetzte im 19. Jahre Tyndall, in Gemeinschaft mit ihrer Mutter und Frau Wiedemann, und verfolgte mit rastlosem Interesse ihres Vaters Arbeiten. Die Liebe und Verehrung für ihren Vater glich der Anbetung. In meinem Hause in Dahlem lernte Käthe ihren Mann, den Dr. Branco, kennen; sie verlobten sich 1871, heiratheten 1872 und gingen gleich nach der Hochzeit auf längere Zeit nach Italien, dem Lande von Käthe's heissester Sehnsucht. Zurückgekehrt kaufte Branco ein Gut bei Genthin, damit seine Frau ganz ihrer Gesundheit leben könnte, dort wurde ihnen im Jahre 1873 die Tochter Edith geschenkt — aber nun ging es bergab mit ihrem Leben. Ein erneuter längerer Aufenthalt in der Schweiz und Baden-Baden, die Uebersiedelung nach Heidelberg, dann wiederum Italien — es war alles vergeblich. Sie kehrte im Jahre 1877 aus Italien zurück, um in der Heimath, in Dahlem, am 25. April zu sterben. Vor dem Altar der Dorfkirche, vor dem ihre Eltern getraut worden, stand ihr Sarg aufgebahrt.“

Helmholtz legte als ordentliches Mitglied der Berliner Akademie, zu dem er am 1. April ernannt worden war, derselben am 25. Mai 1871 unter dem Titel: „Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen“ eine Arbeit vor, in welcher er an Untersuchungen von Blaserna anknüpft und eine damals für die Entwicklung der Elektrodynamik äusserst wichtige Frage behandelt, auf die er schon in der oben besprochenen grossen elektrodynamischen Arbeit hingewiesen hatte. Nach der von C. Neumann vertretenen Ansicht, sowie nach den Anschauungen von Faraday und Maxwell, welche die elektrodynamische Fernwirkung durch eine Veränderung des den Raum füllenden Mediums bedingt sein liessen, würden die elektrodynamischen Fernwirkungen elektrischer Ströme durch Kräfte zu Stande kommen, welche sich mit endlicher Geschwindigkeit durch den Raum hin verbreiten,

und diese Geschwindigkeit wurde der des Lichtes nahezu gleichgesetzt. Helmholtz hatte jedoch in seiner Kritik der elektrodynamischen Theorien gezeigt, dass je nach den Annahmen, die man über die magnetische oder diëlektrische Polarisationsfähigkeit der Luft macht, auch andere Werthe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit den Thatsachen vereinbar sind. Nachdem Blaserna durch Versuche gefunden zu haben glaubte, dass die Fortpflanzung wenigstens der inducirenden Wirkungen elektrischer Ströme in der Luft mit einer sehr mässigen Geschwindigkeit vor sich geht, sah sich Helmholtz, welcher schon längere Zeit mit Versuchen über den Verlauf sehr kurz dauernder elektrischer Ströme beschäftigt war, zunächst veranlasst, die Genauigkeit jener Versuche für die Fortpflanzung der Wirkung durch die Luft hin zu prüfen. Er gelangte zu dem Resultat, „dass die grössere Entfernung der beiden Spiralen von 136 cm die Lage der Nullpunkte des inducirten Stromes nicht um einen Theilstrich des Mikrometers, d. h. nicht um $\frac{1}{231170}$ einer Secunde veränderte. Pflanzen sich also die inducirenden Wirkungen wirklich mit einer angebbaren Geschwindigkeit fort, so muss diese grösser sein als 314400 m, oder etwa 42,4 geographische Meilen in der Secunde“.

In Beziehung auf die Resultate dieser Untersuchung schreibt mir Blaserna im Anschluss an die früheren Bemerkungen über elektrische Oscillationen:

„Dafür griff er ein anderes Resultat an, welches ich in demselben Mémoire glaubte gefunden zu haben. In einer Untersuchung über den Verlauf der inducirten Ströme fand ich nämlich, dass der inducirende Einfluss einer primären Spirale auf eine secundäre nur langsam erfolgt, so dass bei grösseren Entfernungen der beiden Spiralen eine messbare Verzögerung eintreten sollte. Durch sehr genau durchgeführte Messungen wies nun Helmholtz nach, dass dies nicht der Fall ist, und dass die inducirende Wirkung, so zu sagen, sich mit Aethergeschwindigkeit fortpflanzt, während

ich bloss eine Moleculargeschwindigkeit glaubte gefunden zu haben. Ich untersuchte nochmals die Frage auf rein experimentellem Wege und überzeugte mich, dass Helmholtz Recht hatte. Der Verlauf des inducirten Stromes ist viel complicirter, als ich früher vermuthet hatte, und in einer Reihe von Schwingungen hatte ich einen temporären Nullpunkt für einen definitiven angesehen. Ich gab in Folge dessen meine Behauptung auf. Nicht viel später lernte ich Helmholtz im Engadin persönlich kennen. Wir besprachen die Misserfolge in der früheren und in dieser Untersuchung mit einer Objectivität, als ob wir beide gar nicht daran theiligt gewesen wären, und kamen später noch öfters auf dieselben zurück. Die grossartige Auffassung, die er stets in allem zeigte, und sein lebenswürdiges cavalieres Wesen hatten vom ersten Beginn einen tiefen Eindruck auf mich gemacht.“

Noch in demselben Sommer, am 6. Juli 1871, hielt er in der Leibnizsitzung der Akademie der Wissenschaften die schöne und pietätvolle Rede „Zum Gedächtniss an Gustav Magnus“, dessen Nachfolger er geworden, und dessen Person und Wirken er um so mehr gerecht zu werden sich verpflichtet fühlte, als es durch die ein wenig kühle Aufnahme seiner „Erhaltung der Kraft“ durch Magnus den Anschein hatte, oder wenigstens nach den Behauptungen seiner Gegner den Anschein haben sollte, als ob ein tiefer Gegensatz zwischen den wissenschaftlichen Bestrebungen und eine gegenseitige, nicht allzu grosse Werthschätzung der Arbeiten dieser beiden ausgezeichneten Forscher bestanden hätte. Schon aus seinen Jugendbriefen an du Bois war erkennbar, wie hoch Helmholtz die bei Magnus stets hervortretende, von jeder Eifersucht freie Bereitwilligkeit zur Unterstützung jugendlicher Forscher schätzte, zugleich aber auch — und dies hebt er jetzt wieder besonders hervor — die eigene treue, geduldige und bescheidene Arbeit, welche er stets so lange fortsetzte, bis er an dem Werke, das ihn beschäftigte, nichts mehr zu bessern

wusste, und die, wenn er sie auch bei seinen Schülern bemerkte, ihm diese zu seinen persönlichen Freunden machte.

Die Keime der Berliner Physikalischen Gesellschaft waren aus den Uebungen hervorgegangen, welche Magnus in Form von Besprechungen und Berichterstattungen über physikalische Fragen an bestimmten Abenden in seinem Hause abhielt, und dort hatte im Winter 1847 Helmholtz, als er im Laboratorium von Magnus seine Versuche über die Rolle der Weinhefe in der weinigen Gährung wiederholte, auch G. Wiedemann kennen gelernt.

„Vorlesungen über mathematische Physik gab es damals noch nicht“, sagt er zwanzig Jahre später in der Gustav Wiedemann gewidmeten und dem Jubelbande der „Annalen“ beigefügten Huldigungsgabe. „Herr G. Wiedemann und ich selbst, die wir doch das Streben hatten, angeregt durch Gauss' magnetische Untersuchungen, etwas von mathematischer Physik zu erfahren, haben uns deshalb zusammengethan, um einige Werke von Poisson, namentlich die von ihm entwickelte Theorie der Elasticität privatim gemeinsam zu studiren, was wir sehr regelmässig und mit vielem Nutzen gethan haben.“

Die Arbeiten von Magnus errangen durch die classische Vollendung ihrer Methode, durch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Resultate dauernden Ruhm. Helmholtz preist ihn glücklich, weil es ihm vergönnt gewesen, in reiner Begeisterung für ein ideales Princip zu arbeiten.

„Man kann von solchen Menschen sagen, der Neid des Schicksals verkümmert ihnen ihre Erfolge nicht, weil sie für reine Zwecke und mit reinen Wünschen arbeitend auch ohne äussere Erfolge ihre Befriedigung finden würden.“

Vor allem sind aber in dieser Rede die allgemeinen Bemerkungen von hohem Interesse, welche sich auf die verschiedenen Methoden physikalischer Forschung beziehen und zum Theil den Umschwung kennzeichnen, welchen diese in den letzten dreissig Jahren genommen hatten. Magnus

gehörte nicht zu den Forschern, welche dem modernsten übertriebenen Empirismus huldigen, welche nur darauf ausgehen, Thatsachen zu entdecken, die sich unter keine Regel fügen lassen, und es vermeiden, nach einem Gesetze oder Zusammenhange der entdeckten Thatsachen zu suchen. Es lag ihm jedoch auch fern, den Theoretiker zu spielen, der nicht für nöthig hält, die Folgerungen aus seinen ihm als Axiome erscheinenden Hypothesen an der Erfahrung zu prüfen. Vor allem war er aber ein Feind metaphysischer Hypothesen, und die Furcht vor dem etwaigen Wiederaufblühen der Hegel'schen Naturphilosophie konnte ihn bisweilen zu einem strengeren Kritiker der Arbeiten anderer machen, als er es sonst gewesen wäre.

„Unwürdig eines wissenschaftlich sein wollenden Denkers“, sagt Helmholtz bei einer anderen Gelegenheit, „ist es, wenn er den hypothetischen Ursprung seiner Sätze vergisst. Der Hochmuth und die Leidenschaftlichkeit, mit der solche versteckte Hypothesen vertheidigt werden, sind die gewöhnlichen Folgen des unbefriedigenden Gefühles, welches ihr Vertheidiger in den verborgenen Tiefen seines Gewissens über die Berechtigung seiner Sache hegt.“

Helmholtz hofft, die Ueberzeugung werde immer mehr Boden gewinnen, dass in der physikalischen Wissenschaft nur derjenige fruchtbar experimentiren könne, welcher eine eindringende Kenntniss der Theorie hat und ihr gemäss die rechten Fragen zu stellen weiss, und dass andererseits, wie es sich am glänzendsten bei der Entdeckung der Spectralanalyse gezeigt, nur derjenige fruchtbar theoretisiren könne, der eine breite praktische Erfahrung im Experiment habe. Auch die mathematische Physik ist nach ihm eine Erfahrungswissenschaft, und er sucht in seiner Rede die Scheidewand abzutragen, welche die experimentelle von der theoretischen Physik trennt. Wir finden in der Erfahrung nur ausgedehnte und zusammengesetzte Körper vor, deren Wirkungen zusammengesetzt sind aus denjenigen,

welche ihre einzelnen Theile ausüben; wollen wir also die einfachsten und allgemeinsten, von der Form, Grösse und Lage der wirkenden Körper befreiten Wirkungsgesetze der in der Natur vorgefundenen Massen und Stoffe auf einander kennen lernen, so müssen wir auf die Wirkungsgesetze der continuirlichen und gleichartigen Volumenelemente, nicht der disparaten und verschiedenartigen Atome, zurückgehen, und die mathematische Physik ist daher ebenso wie die experimentelle Physik der Controle der Erfahrung unterworfen.

Dieselbe Frage des gegenseitigen Verhältnisses der experimentellen und mathematischen Physik berührt er auch in seiner „Ueber das Streben nach Popularisirung der Wissenschaft“ betitelten und im Jahre 1874 erschienenen Vorrede zu der Uebersetzung von Tyndall's „Fragments of Science“, indem er die beiden Wege, den gesetzlichen Zusammenhang der Natur aufzusuchen, den der abstracten Begriffe und den einer reichen experimentirenden Erfahrung, von einander scheidet und dann wieder vereinigt. Er hält den ersten Weg, der vermöge der mathematischen Analyse zur quantitativen Kenntniss der Phänomene führt, nur da angezeigt, wo der zweite schon das Gebiet einigermaassen aufgeschlossen und somit eine inductive Kenntniss der Gesetze mindestens für einige Gruppen der dahin gehörigen Erscheinungen gegeben hat. Es handelt sich dann nur um den Uebergang zu den letzten und allgemeinsten Gesetzen und deren Consequenzen in diesem Gebiete. Der rein experimentelle Weg dagegen führt zur Erkenntniss des Gesetzlichen in einer Form, wie es die Künstler auffassen, und wie er sie schon in seinen Goethe-Reden als sinnlich lebendige Anschauung des Typus seiner Wirksamkeit hat erkennen lassen, um sich dann später in die reine Form des Begriffes herauszuarbeiten. Beide Wege müssen nothwendig neben einander hergehen, wenn man nicht Gefahr laufen will, entweder ein Gebäude auf unhaltbarem Fundamente aufzu-

bauen oder das Ziel der Wissenschaft aus dem Auge zu verlieren.

„Die erste Entdeckung bisher unbekannter Naturgesetze, also neuer Gleichförmigkeiten in dem Ablauf anscheinend unzusammenhängender Vorgänge, ist eine Sache des Witzes — dieses Wort in seiner weitesten Bedeutung genommen — und wird fast immer nur durch die Vergleichung reicher sinnlicher Anschauungen gelingen; die Vervollständigung und Reinigung des Gefundenen fällt nachher der deductiven Arbeit der begrifflichen und zwar vorzugsweise mathematischen Analyse anheim, da es sich schliesslich immer um Gleichheit von Quantis handelt.“

In den Herbstferien 1871 reiste Helmholtz zur British Association in Edinburgh und suchte zuerst in St. Andrews in Schottland Mr. Tait auf:

„St. Andrews“, schreibt er am 20. August seiner Frau, „hat eine prächtige Bai, feine Sandfläche, die dann mit einer scharfen Kante in grüne Grasflächen übergeht. Die Stadt selbst liegt auf steinigen Klippen. Es ist grosses Leben von Badegästen, eleganten Damen und Kindern, Gentlemen in sporting Costümen, welche golfing spielen. Mr. Tait kennt hier nichts anderes als golfing. Ich musste gleich mit, die ersten Schläge gelangen mir, nachher traf ich entweder nur die Erde oder die Luft. Tait ist eine eigenthümliche Art von Wildem Mann, lebt hier, wie er sagt, nur für seine Muskeln, und erst heute am Sonntag, wo er nicht spielen durfte, aber auch nicht in die Kirche ging, war er zu vernünftigen Gegenständen zu bringen. Zum Dinner kam ein Chemiker Andrews aus Belfast, Professor Huxley, der berühmte Fortschrittszoologe aus London, lauter angenehme und interessante Leute. Andrews zeigte uns merkwürdige Experimente, wie Gas und Flüssigkeiten unter hohem Druck in einander übergehen. . . . Wir hatten Dinner bei Professor Brown, bei dem noch ein grosser Mathematiker Sylvester

einquartirt war, der von Mr. Gladstone sehr schlecht behandelt worden ist, worüber grosse Aufregung unter den Herren herrschte. . . .“

Er fuhr von dort aus nach Glasgow und übernachtete mit Professor Brown im College, wo ein Neffe von W. Thomson die Honneurs machte.

„Das Haus war im Innern noch nicht fertig, nicht tapezirt, nicht angestrichen, voll alter Möbel, die noch nicht an ihrer Stelle standen, und es machte einen unsäglich traurigen Eindruck, als ob Niemand sich darum bekümmere, im Gegensatz zu dem älteren Hause, in welchem Lady Thomson noch gewaltet hat. In einer Ecke des Dining room hing ein ausgezeichnet schönes und ausdrucksvolles Porträt, gezeichnet, von ihr, und darunter ihr Canapée, auf dem sie immer lag, und Decke. Ich wurde ganz traurig und musste die Thränen zurückhalten, während die beiden jungen Leute bei unserm Thee sich lustig unterhielten. Es ist sehr traurig, wenn die Männer ihre Frauen verlieren und ihr Leben verödet.“

Von dort fuhr er zu den Wettfahrten nach Iwerary, die er auf der Yacht von W. Thomson mitmachte, einem Zweimaster, der mit zu den grösseren und behaglicheren der dort versammelten ziemlich grossen, schlank und elegant gebauten 40 Yachten gehörte; er bewunderte die Geschicklichkeit, mit der Thomson und seine Leute manövrirten. Nachdem er die Schwiegereltern von Thomson in Largs besucht, wo dessen Frau gestorben war, macht er mit seinem Freunde noch einige grössere Fahrten auf dessen Lalla Rookh „die Yacht ist wie ein bewegliches Seebad und bietet bei gutem Wetter einen angenehmen Aufenthalt“, und studirt mit Thomson die Theorie der Wellen, „was er am liebsten auch als eine Art von race zwischen uns beiden behandeln möchte“. Sie suchten an der Westküste von Schottland eine Reihe der schönst gelegenen Orte auf, bis sie das nördliche Ende ihrer Fahrt erreichten, die

Insel Skye, freilich in Folge starker Stürme mit wiederholten Unterbrechungen. Auf dem Rückwege besuchten sie in der Nähe von Glasgow die Familie des Mathematikers Blackburn, und er erfreut sich an dem merkwürdigen Talente von Mrs. Blackburn in der Thiermalerei, deren Bilder ihm schon auf der Ausstellung in London aufgefallen waren:

„Es ging sehr bequem und ungenirt zu. W. Thomson hat die Freiheit des Umganges jetzt so weit getrieben, dass er stets sein mathematisches Heft mit sich führt, und sobald ihm etwas einfällt, mitten in der Gesellschaft zu rechnen anfängt, was man allgemein mit einer gewissen Ehrfurcht betrachtet. Wie wäre es, wenn ich die Berliner auch daran gewöhnte? Am naivsten aber fand ich es, dass er sich am Freitag die Gesellschaft auf seine Yacht eingeladen hatte und dann, sobald das Schiff auf seinem Curse war, und sich jeder einen gegen Schwankungen möglichst gesicherten Platz auf dem Deck gesucht hatte, in die Cajüte verschwand, um dort zu rechnen, während sich die Gesellschaft, soweit sie noch Lust dazu hatte, wechselseitig unterhalten mochte, natürlich nicht gerade sehr lebhaft. Ich erlaubte mir meine Unterhaltung darin zu suchen, dass ich auf dem Deck „in schwankender Anmuth“ auf und ab balancirte. . . .“

Die Rückfahrt war eine sehr angenehme und behagliche, und er konnte an ruhigen Tagen mit W. Thomson Versuche über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der kleinsten ripples machen, die auf der Wasserfläche zu Stande kommen können, und über welche Thomson in der letzten Zeit gearbeitet hatte.

„Ich finde aber“, schreibt er seiner Frau am 14. Sept., „dass ein nicht mehr ganz junger Ehemann sich auf die Dauer doch nicht wohl fühlt, wenn er so ohne höhere Leitung, sich selbst überlassen, in der Welt herumschwärmt, und dass, wenn die Welt allein mit Männern bevölkert wäre, sie wahrscheinlich nicht sehr viel Schönheit darbieten

würde, sondern sehr praktisch und unerquicklich sein möchte.“

Die folgenden Jahre brachten Helmholtz Auszeichnungen und Ehrungen in steter Folge; im Jahre 1873 erhielt er den Preussischen Kronenorden zweiter Klasse, durch Cabinetsordre vom 16. Juli 1873 den Orden pour le mérite, und noch in demselben Jahre wurde er auswärtiges Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften.

Seine Arbeiten wandten sich nun zunächst ganz der Elektrizitätslehre zu. In seiner ersten Abhandlung über die Theorie der Elektrodynamik, welche die elektrischen Bewegungen in ruhenden ponderablen Trägern der Elektrizität behandelt und für die Grundprincipien der Mechanik überhaupt von hervorragendem Interesse ist, war es ihm gelungen, dem F. E. Neumann'schen Potentialausdruck eine Form zu geben, in welcher er auch die aus den Theorien von W. Weber und Maxwell hervorgegangenen abweichenden Potentialausdrücke für je zwei Stromelemente umfasste. Die Untersuchung des Gesetzes für die verschiedenen Werthe seiner Constanten k hatte ergeben, dass das Weber'sche Gesetz zu Unzuträglichkeiten führt; andererseits nahm die Maxwell'sche Hypothese für den Fall, dass auch die in diëlektrischen und magnetischen Medien vor sich gehenden Bewegungen der Elektrizität und des Magnetismus elektrodynamische Wirkung haben, ausser der bisher nicht bestimmbar Constanten k noch die aus den bisherigen Versuchen ebenfalls nicht bestimmbar diëlektrische Constante des Luftraumes oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Transversalwellen im Luftraume zu Hülfe. Es musste ihm somit vor allem darauf ankommen, diese letztere Constante durch Versuche zu ermitteln, welche auch in der That Boltzmann in seinem Laboratorium anstellte, um die jetzt so berühmt gewordene Maxwell'sche elektromagnetische Lichttheorie zu prüfen. Dieser hervorragende Forscher, den Helmholtz später vergeb-

lich als Nachfolger Kirchhoff's nach Berlin zu ziehen suchte, schrieb mir im April 1902: in Folge der Annahme von Helmholtz, dass Maxwell den Brechungsexponenten gleich der Dielektricitätsconstanten setze, habe die gewünschte Uebereinstimmung sich nicht ergeben; er schied daher in der festen Ueberzeugung aus Berlin, Maxwell gänzlich widerlegt zu haben, und war schon im Begriff, seine Einwürfe gegen dessen Theorie drucken zu lassen. Aber bereits am 1. November 1872 schrieb er an Helmholtz:

„...Noch etwas kann ich nicht umhin, Ihnen zu erzählen. Ich war nämlich bisher immer der Meinung (und ich glaube, auch Sie sprachen diese Meinung aus, als ich in Berlin war), dass nach der Maxwell'schen Theorie von der Identität des Lichtes und der Elektrizität die von mir bestimmten Dielektricitätsconstanten gleich den Brechungsquotienten sein müssten. Als ich jetzt die Werthe aller Dielektricitätsconstanten in einer Tabelle zusammenstellte, betrühte ich mich recht sehr, dass sie sogar weit von den Brechungsquotienten abwichen, bemerkte aber zugleich, dass sie immer ungefähr gleich den Quadraten der Brechungsquotienten waren. Wie ein Blitz durchfuhr mich der Gedanke, ob nicht etwa die Maxwell'sche Theorie das letztere fordert, da ja Fortpflanzungsgeschwindigkeiten immer den Quadratwurzeln aus den Kräften proportional sind. Ich sah in Maxwell's Abhandlung nach, und richtig war da deutlich zu lesen, dass die Dielektricitätsconstante dem Quadrate des Brechungsexponenten proportional sein muss (die magnetische Inductionsconstante ist wohl für alle diese Stoffe nahe gleich eins), so dass ich also in meinen Versuchen eine Bestätigung der Maxwell'schen Theorie erblicken muss.“

Zu einer Entscheidung für eine der verschiedenen, von Helmholtz in seiner ersten Arbeit besprochenen Hypothesen war Theorie und Experiment noch nicht reif, und sowohl in der der Akademie am 18. April 1872 vorgelegten Arbeit

„Ueber die Theorie der Elektrodynamik“ sowie in der im Journal für reine und angewandte Mathematik im Jahre 1873 erschienenen Ausführung derselben „Ueber die Theorie der Elektrodynamik. Zweite Abtheilung: Kritisches“ beschränkt sich Helmholtz zum Theil darauf, die Einwürfe, die gegen seine erste Arbeit erhoben wurden, zu entkräften. Er hebt Bertrand gegenüber hervor, dass die Ausdrücke für das Potential je zweier Stromelemente nicht Ausdrücke der letzten elementaren wirkenden Kräfte sind, sondern dass sie für jedes Stromelement, dieses als festen Körper gedacht, auf eine Kraft und auf ein Kräftepaar führen; die Grösse, zum Theil auch die Richtung dieser Kräfte hänge nicht bloss von der Lage der Elemente, sondern auch von der Geschwindigkeit der elektrischen Ströme ab, und man dürfe somit von dem Potential zweier Stromelemente mit demselben Rechte reden wie von dem Potential zweier Magnete. Vor allem aber sucht er die Gründe zu entkräften, welche W. Weber gegen seine Ausführung geltend gemacht, da schon in dem ganz speciellen Falle der nach dem Weber'schen Gesetze vor sich gehenden Bewegung zweier Elektrizitätstheilchen auf ihrer Verbindungslinie die Beschleunigung unendlich gross werden kann, und bei einer geringeren Entfernung der Coefficient der Beschleunigung, welcher der Masse entspricht, negativ wird. Er zeigt ausserdem, dass unter Annahme des Weber'schen Gesetzes für ein elektrisches Massentheilchen, welches innerhalb einer gleichmässig mit Elektrizität belegten Hohlkugel beweglich ist, der Fall eintreten könnte, dass der Coefficient der Beschleunigung negativ wird, was zu einer Verwirklichung des Perpetuum mobile führen würde, und weist aufs Neue darauf hin, dass die von Kirchhoff unter Annahme des Weber'schen Gesetzes hergeleiteten Differentialgleichungen für die Bewegung der Elektrizität zu einem labilen Gleichgewicht der Elektrizität in Leitern führen würden.

Er schreitet nun weiter in dem Vergleich der verschie-

denen Theorien und deren Consequenzen und stellt sich zunächst die Aufgabe, die Ampère'schen Kräfte aus dem Potentialgesetze von F. E. Neumann herzuleiten. Die Veranlassung zu dieser Untersuchung gab zunächst das von Riecke geäußerte Bedenken, dass, wenn man mit Hülfe des Helmholtz'schen Potentialausdruckes das Potential eines geschlossenen Stromes auf ein Stromelement herleitet, sich ergibt, dass die Wirkung eines geschlossenen Stromes auf den beweglichen Theil eines anderen Stromes nicht, wie es nach Ampère sein muss, senkrecht zu diesem steht. Das Ergebniss seiner Untersuchung legt Helmholtz der Akademie in einem kürzeren Aufsatz, betitelt „Vergleich des Ampère'schen und Neumann'schen Gesetzes für die elektrodynamischen Kräfte“ am 6. Februar 1873 vor, während die ausführlichere Darstellung im nächsten Jahre in der im Journal für Mathematik erschienenen Abhandlung „Ueber die Theorie der Elektrodynamik. Dritte Abhandlung: Die elektrodynamischen Kräfte in bewegten Leitern“ gegeben wird; in seiner auch noch im Jahre 1874 in den Poggendorff'schen Annalen veröffentlichten Arbeit „Kritisches zur Elektrodynamik“ richtet er sich lediglich gegen die bezüglich seiner mathematischen Theorie der Elektrodynamik erhobenen Einwände.

Das F. E. Neumann'sche Potentialgesetz, welches Helmholtz in einem Briefe an Schering eine der brillantesten Leistungen nennt, welche die mathematische Physik aufzuweisen hat, war dazu bestimmt und wohl geeignet, das ganze Gebiet der elektrodynamischen Bewegungskräfte, welche durch das Ampère'sche Gesetz umfasst werden, sowie der elektrodynamischen Induction, hervorgebracht durch Bewegung von Stromleitern und durch Aenderung der Stromintensität, unter ein einziges sehr einfaches Gesetz zu vereinigen. Dasselbe hatte jedoch für geschlossene Ströme nach dem Beweise von Neumann übereinstimmende Resultate mit dem für diese Fälle thatsächlich richtigen Ampère's-

schen Gesetze nur unter der Voraussetzung gegeben, dass die betreffenden beiden Stromleiter ohne Veränderung ihrer Form und Grösse bewegt werden. Um nun das Gesetz der elektrodynamischen Bewegungskräfte für Leiter von drei Dimensionen auszusprechen, zerlegt Helmholtz diese zunächst in leitende Fäden, welche überall der Richtung der zur Zeit bestehenden Strömungslinien folgen, so dass keine Elektrizität von einem seiner Fäden zu seinen Nachbarn übergeht. Da nun das Ampère'sche Gesetz nur Kräfte kennt, welche von Stromelement auf Stromelement wirken, so konnte Helmholtz zeigen, dass, wenn man bei Benutzung des Potentialgesetzes noch Kräfte hinzunimmt, welche zwischen Stromenden und Stromelementen, und zwischen den Stromenden der beiden Leiter wirken, aus dem aufgestellten Potential der Stromelemente sich bewegendende Kräfte für zwei ungeschlossene Stromtheile herleiten lassen, welche für diese Stromtheile selbst in diejenige Form gebracht werden können, die Ampère diesen Kräften gegeben hat. Treten wie bei der Bewegung der sogenannten Rotationsapparate Gleitstellen auf, so sind diese nach Helmholtz als Stromenden anzusehen, und es ergibt sich nach seiner Ansicht die Lösung auch in diesen Fällen ohne Schwierigkeit, wenn man berücksichtigt, dass die in der Gleitstelle theoretisch als Grenzfall vorausgesetzte discontinuirliche Verschiebung eben nur Grenze einer physikalisch in der That immer noch continuirlichen Verschiebung ist.

In der oben erwähnten dritten Abhandlung über die Theorie der Elektrodynamik giebt aber Helmholtz nicht nur eine ausführlichere Darstellung eben dieser Resultate, sondern er geht auch in der Entwicklung der allgemeinen Theorie einen wesentlichen Schritt weiter. Bisher war von ihm nur die Einwirkung elektrischer Ströme auf einander und auf Leiter unter der Voraussetzung behandelt worden, dass alle Leiter sich in Ruhe befinden, so dass nur die Aenderungen der Stromstärken in Betracht kommen, und das von

ihm erweiterte Potential zweier Stromelemente auf einander als Arbeitswerth der in denselben vorhandenen elektrischen Ströme definirt werden konnte. Er leitet nunmehr die Bewegungsgleichungen der Elektrizität in bewegten ponderablen Leitern aus denselben Principien her und will zeigen, dass die von ihm durchgeführte Verallgemeinerung des Neumann'schen Potentialgesetzes mit keinen der damals bekannten, fast ausschliesslich auf geschlossene Stromkreise bezüglichen Erfahrungen in Widerspruch steht und zugleich mit dem Gesetz von der Constanz der Energie übereinstimmt. Dagegen hat er die Untersuchung nicht auf den Fall ausgedehnt, dass ausser den bewegten Leitern auch diëlektrisch polarisirbare Medien in Bewegung gerathen, und dass auch die in diesen eintretenden elektrischen Bewegungen elektrodynamisch wirksam sind.

Helmholtz hat also zunächst in den drei über Elektrodynamik veröffentlichten Arbeiten das F. E. Neumann'sche Potentialgesetz, welches die Stärke der inducirten Ströme nicht auf Wirkungen von Punkt zu Punkt, sondern von Längenelementen der Stromleiter auf einander zurückführte, in verallgemeinerter Form ausgesprochen und dadurch erreicht, dass dieses in einfacherer Weise als das ursprüngliche Gesetz von Ampère die sämtlichen Erscheinungen geschlossener Ströme mit den Thatsachen übereinstimmend und quantitativ genau darstellte. Für die meist ausserordentlich schwachen elektrodynamischen Wirkungen ungeschlossener Ströme, welche zur Ansammlung von Elektrizität an einzelnen Stellen der Leiter führen, konnte Helmholtz nachweisen, dass die Anwendung des Potentialgesetzes auf diese nirgends in Widerspruch steht mit den allgemeinen Axiomen der Mechanik, worin der wesentliche Vorzug des Neumann'schen Gesetzes allen anderen Hypothesen über die elektrische Fernwirkung gegenüber lag. Doch bestand ein wesentlicher Unterschied gegen die Faraday'sche Annahme darin, dass elektrodynamische Wirkungen nur den in den Leitern vor-

gehenden elektrischen Strömungen zugeschrieben und die diëlektrischen Ladungen, welche in den zwischen den Leitern liegenden Isolatoren entstehen, nicht als elektrodynamisch wirksam betrachtet wurden. Es erübrigte somit für Helmholtz, zu finden, in welcher Richtung Versuche angestellt werden müssen, um sich für eine der beiden Hypothesen zu entscheiden.

In der im Juni 1875 der Berliner Akademie vorgelegten Arbeit „Versuche über die im ungeschlossenen Kreise durch Bewegung inducirten elektromotorischen Kräfte“ beschreibt er zu diesem Zwecke ausgeführte Versuche über die Elektrizität, welche sich an der Oberfläche eines im magnetischen Felde rotirenden Leiters sammelt. Nach den gewöhnlichen Inductionsgesetzen muss in einem Leiter, der um die Axe eines Magnetes in Rotation versetzt wird, eine elektromotorische Kraft inducirt werden, während dies nach dem Potentialgesetz allein nicht der Fall wäre, und Helmholtz unterwarf nun die Abweichung, welche sich hier zwischen den beiden Theorien ergiebt, einer experimentellen Entscheidung. Das Resultat der Versuche stand nicht in Uebereinstimmung mit dem Neumann'schen Inductionsgesetz, wenn man annahm, dass das verallgemeinerte Neumann'sche Potentialgesetz bei ausschliesslicher Beachtung der in eigentlichen Leitern vorgehenden Bewegungen der Elektrizität relativ zum Leiter eine vollständige Formulirung des Gesetzes der elektrodynamischen Wirkungen sei. Nur dann löste sich der Widerspruch gegen jenes Inductionsgesetz, wenn man die Existenz des Potentialgesetzes mit der Faraday'schen Annahme vereinigte, dass die in den Isolatoren zwischen zwei sich ladenden Leitern zu Stande kommende diëlektrische Polarisirung eine elektrische Bewegung ist, welche dem jene Leiterstücke ladenden Strom äquivalente Intensität und äquivalente elektrodynamische Wirkung hat. Alle anderen Theorien, welche Fernkräfte annehmen, deren Intensitäten von der Entfernung, den Ge-

schwindigkeiten und den Beschleunigungen abhängen, ergeben zwar die Phänomene geschlossener Ströme vollkommen richtig, aber sie kommen alle in Widerspruch mit den allgemeinen Axiomen der Dynamik, wenn man sie auf ungeschlossene Ströme anwendet. Die Weber'sche Hypothese lässt das Gleichgewicht der Elektrizität als labil erscheinen in jedem Leiter von mässiger Ausdehnung nach drei Dimensionen, und deshalb lassen sich auch aus demselben keine brauchbaren Gesetze für die Bewegung der Elektrizität in körperlich ausgedehnten Leitern folgern. Dasselbe gilt von dem Riemann'schen Gesetze, das ausserdem noch in Widerspruch steht zu dem Axiom von der Gleichheit der Action und Reaction, und die Clausius'sche Hypothese, welche von diesen Fehlern frei ist, muss ein raumfüllendes Medium zu Hülfe nehmen, zwischen welchem und den Elektrizitäten die von ihm angenommenen Kräfte wirksam werden müssten.

So erkennt Helmholtz die Faraday'sche Annahme als die einzige an, die mit den beobachteten Thatsachen zusammenstimmt und durch keine ihrer Folgerungen mit den allgemeinen Grundsätzen der Dynamik in Widerspruch tritt. Wenn auch Clerk Maxwell bisher diese Theorie wesentlich nur für die Wirkungen geschlossener leitender Kreise durchgeführt hatte, so fand doch Helmholtz, dass sie auch im Einklang ist mit den wenigen damals für nicht geschlossene Leiter gesammelten Thatsachen, wie seine eigenen Versuche über die elektrische Ladung der Oberfläche rotirender Leiter im magnetischen Felde ergeben hatten. Nach der Faraday'schen Annahme entsteht in allen zwischen den Leitern liegenden Isolatoren, wenn die begrenzenden Leiter sich elektrisch laden, diëlektrische Polarisat-ion, und zwar in solcher Stärke, dass die mit der Herstellung dieses Zustandes verbundene Bewegung der Elektrizitäten als eine äquivalente Fortsetzung des die Leiter ladenden elektrischen Stromes angesehen werden kann —

es giebt danach nur geschlossene Ströme, für welche all' die verschiedenen Theorien zu denselben Resultaten führten. Es folgt zugleich, dass die Wirkung der etwa noch angenommenen unmittelbaren Fernkräfte verschwinden muss gegen die der Aenderungen der diëlektrischen und magnetischen Spannungen im Raum erfüllenden Aether.

„Jede tiefgreifende Veränderung der grundlegenden Principien und Voraussetzungen einer Wissenschaft“, sagt Helmholtz später, „führt nothwendig die Bildung neuer abstracter Begriffe und ungewohnter Vorstellungsverbindungen mit sich, in welche sich die zeitgenössischen Leser nur langsam einleben, wenn sie überhaupt geneigt sind, sich diese Mühe zu geben. Der Sinn einer neuen Abstraction kann erst dann als klar verstanden gelten, wenn die Art ihrer Anwendung auf die wesentlichsten Gruppen der Einzelfälle, die darunter zu ordnen sind, durchgedacht und richtig befunden ist. Neue Abstractionen in allgemeinen Sätzen zu definiren, so dass nicht Missverständnisse aller Art vorkommen könnten, ist sehr schwer. Dem Urheber eines solchen neuen Gedankens wird es dann meist viel schwerer, herauszufinden, warum die Anderen ihn nicht verstehen, als ihm die Entdeckung der neuen Wahrheit gewesen. Ich möchte Faraday's Zeitgenossen nicht herabsetzen, weil seine Worte ihnen unbestimmt und dunkel erschienen; ich weiss zu wohl, wie oft ich selbst gesessen habe, hoffnungslos auf eine seiner Beschreibungen von Kraftlinien und von deren Zahl und Spannung starrend, oder den Sinn von Sätzen suchend, wo der galvanische Strom als eine Axe der Kraft bezeichnet wird, und ähnliches mehr. Es war ein Clerk Maxwell nöthig, ein zweiter Mann von derselben Tiefe und Selbständigkeit der Einsicht, um in den normalen Formen des systematischen Denkens das grosse Gebäude auszuführen, dessen Plan Faraday in seinem Geiste entworfen hatte, welches er klar vor sich sah und welches er sich bemühte, seinen Zeitgenossen sichtbar zu machen.“